

**PATENT APPLICATION**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In application of

Docket No: Q79392

Juergen HARTMAIER, et al.

Appln. No.: 10/758,118

Group Art Unit: 2873

Confirmation No.: 5044

Examiner: Not Yet Assigned

Filed: January 16, 2004

For: RETARDATION ELEMENT MADE FROM CUBIC CRYSTAL, AND AN OPTICAL  
SYSTEM THEREWITH

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENTS**

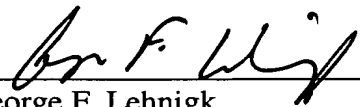
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith are two (2) certified copies of the priority documents on which claims to priority were made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority documents. The third priority document on which a claim to priority was made under 35 U.S.C. §119 was previously submitted on January 16, 2004.

Respectfully submitted,

SUGHRUE MION, PLLC  
Telephone: (202) 293-7060  
Facsimile: (202) 293-7860

  
George F. Lehnigk  
Registration No. 36,359

WASHINGTON OFFICE

**23373**

CUSTOMER NUMBER

Enclosures: Germany 101 33 842.2  
European PCT/EP03/01475

Date: June 30, 2004



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 33 842.2

**Anmeldetag:** 18. Juli 2001

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss, 89518 Heidenheim/DE

**Bezeichnung:** Verzögerungsplatte aus kubischem Kristall

**IPC:** G 02 B, G 03 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 26. April 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Agurks', written over the printed name.

**Agurks**



Beschreibung:

01087P

Verzögerungsplatte aus kubischem Kristall

Die Erfindung betrifft eine Verzögerungsplatte aus kubischem Kristall. Derartiges ist zum Beispiel aus der US 6,191,880 B der Anmelderin bekannt, wo eine Verzögerungsplatte, also eine doppelbrechende Platte, die eine Phasenverschiebung zwischen zwei orthogonal zueinander polarisierten durchtretenden Strahlen bewirkt und zum Beispiel als  $\lambda/4$ - oder  $\lambda/2$ -Platte ausgebildet sein kann, als Platte aus Kalziumfluorid beschrieben ist, die durch äußere Kräfte oder durch den Herstellprozess bedingt Spannungsdoppelbrechung aufweist. Zur Kristallorientierung ist dort nichts ausgesagt.

Regulär weisen kubische Kristalle aufgrund ihrer Symmetrie keine Doppelbrechung auf.

Herstellungsbedingte residuale Spannungsdoppelbrechung optischer Elemente aus Kalziumfluorid ist aus der US 6,201,634 B1 bekannt.

Klassische doppelbrechende Kristalle wie Magnesiumfluorid weisen eine derartig hohe Doppelbrechung auf, daß nur sehr dünne Platten benötigt werden, die aber technologische Probleme aufwerfen, wie beispielsweise der DE 197 04 936 A (US ser. No. 09/017,159) und der US 6,084,708 B der Anmelderin zu entnehmen ist. An sich mögliche und gebräuchliche dickere Verzögerungsplatten mit einem Gangunterschied  $(n+1/4)\lambda$  - Verzögerungsplatten n-ter Ordnung – sind zwar dicker, benötigen aber die gleiche enge Dickentoleranz und haben eine weit geringere Winkeltoleranz für das Licht.

Viele andere bekannte Materialien für Verzögerungsplatten stehen im Ultraviolettbereich von 200 bis 150 nm und darunter wegen zu hoher Absorption nicht zur Verfügung.

Aus der Internet-Publikation „Preliminary Determination of an Intrinsic Birefringence in  $\text{CaF}_2$ “ von John H. Burnett, Eric L. Shirley, and Zachary H. Levine, NIST Gaithersburg MD 20899 USA (verbreitet am 07.05.01) ist bekannt, daß Kalzium-Fluorid-Einkristalle auch nicht spannungsinduzierte, also intrinsische Doppelbrechung aufweisen. Die dort

präsentierten Messungen zeigen, daß bei Strahlausbreitung in Richtung der  $\langle 110 \rangle$ -Kristallachse eine Doppelbrechung von  $(6.5 \pm 0.4) \text{ nm/cm}$  bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 156.1 \text{ nm}$  auftritt. Messungen der Anmelderin zeigen  $11 \text{ nm/cm}$ . Die Doppelbrechung in den anderen Kristallachsrichtungen ist dagegen klein.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, eine alternative Bauart von Verzögerungsplatten anzugeben, die für Wellenlängen im Bereich 200 bis 150 nm und darunter geeignet ist und sehr exakte Funktion bei mäßigem Fertigungsaufwand erlaubt.

Hochwertige Verzögerungsplatten für diesen Wellenlängenbereich werden in Projektionsbelichtungsanlagen der Mikrolithographie benötigt, insbesondere in Verbindung mit katadioptrischen Projektionsobjektiven. Zwingend werden sie bei Projektionsobjektiven mit Polarisationsstrahlteiler als Viertelwellenplatten benötigt zwischen Strahlteiler und Konkavspiegel. Bei anderen Typen mit Umlenkspiegeln mit ca.  $90^\circ$  Umlenkung führt die Reflexion nahe dem Brewsterwinkel zu polarisationsabhängigen Reflektivitäten, welche kompensiert werden müssen.

Gelöst wird diese Aufgabe durch eine Verzögerungsplatte nach Anspruch 1.

Hiermit wird die residuale Doppelbrechung von Kalziumfluorid, die bei Strahldurchtritt parallel zur  $\langle 110 \rangle$  Kristallachse oder parallel zu einer dazu äquivalenten Hauptachse des Kristalls maximal ist, und die bisher als Problem von Linsensystemen aus diesem Material betrachtet wurde, gezielt als Wirkmechanismus für die Verzögerungsplatte eingesetzt. Wegen der verhältnismäßig geringen Doppelbrechung ist die Platte mehrere Zentimeter dick, auf ihre Dicke kommt es aber auch für sehr genaue Verzögerungen nur in einem für die Fertigung optischer Elemente problemlosen Bereich an.

Außer dieser intrinsischen Doppelbrechung hat auch die Spannungsdoppelbrechung aufgrund von Herstellungsbedingungen in der beanspruchten Richtung laut der US 6, 201,634 B einen relativ hohen Wert. Die Dicke einer derartigen Verzögerungsplatte mit einer gewünschten Verzögerung zum Beispiel als Viertelwellenplatte kann aus dem

gemessenen Wert der Doppelbrechung der konkreten Materialcharge bestimmt werden und somit beide Ursachen der Doppelbrechung berücksichtigen.

Zudem wurde von den Erfindern festgestellt, daß Bariumfluorid-Einkristall ebenfalls derartige Doppelbrechung aufweist, allerdings mit dem etwa doppelten Wert von 25 nm/cm. Damit ist auch Bariumfluorid in gleicher Orientierung geeignet, hat aber den Vorteil etwa halber Dicke.

Es ist klar, daß auch alle anderen Kristalle, wenn sie eine ähnliche Doppelbrechung aufweisen, in gleicher Weise geeignet sind. Für die anderen im tiefen Ultraviolett transparenten Fluorid-Kristalle sind diese Werte aber derzeit nicht bekannt. Lediglich für Strontiumfluorid ist in der US 6,201,634 B bezüglich der herstellbedingten Spannungsdoppelbrechung eine Angabe bekannt.

Im Vergleich zu extrem dünnen MgF<sub>2</sub>-Verzögerungsplatten hat die Verwendung von CaF<sub>2</sub> oder BaF<sub>2</sub> den Vorteil, daß die Dicken im cm-Bereich liegen. Dies vereinfacht extrem die Fertigung der Verzögerungsplatten.

Weitere Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Wichtige Ausführungen der Verzögerungsplatten sind die Halbwellenplatten und die Viertelwellenplatten, wobei die erfindungsgemäße Ausführung aus relativ schwach doppelbrechenden Werkstoffen besonders geeignet ist zur Darstellung von Platten nullter Ordnung. Bei diesen ist der Gangunterschied gleich  $(0+1/4)\lambda$  beziehungsweise  $(0+1/2)\lambda$ , es wird also nicht zusätzlich ein nicht wirksamer Gangunterschied von einem Vielfachen der Wellenlänge eingebracht. Bei Platten aus Magnesiumfluorid ist dies unumgänglich, um handhabbare Plattendicken zu erreichen, bewirkt aber eine Einschränkung der Winkelakzeptanz.

Besonders vorteilhaft ist die nach Anspruch 5 vorgesehene Ausführung, bei der die Verzögerungsplatte eine Funktionsfläche trägt. Ohne effektiven Einfluß auf die Verzögerung beziehungsweise die Polarisationsdrehung kann eine oder beide Endflächen

mit einer Struktur versehen sein, die refraktiv oder diffraktiv wirkt. Fresnel-Linsen, Zonenplatten, refraktive oder diffraktive Rasterplatten und dergleichen mit Strukturhöhen bis zum Millimeter-Bereich können so ohne ein zusätzliches Bauteil bereitgestellt werden. Mit einem solchen Bauteil kann zum Beispiel im Beleuchtungssystem einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage zugleich die Polarisationsverteilung beeinflußt werden und der Lichtleitwert erhöht werden. Auch kann eine oder beide Endflächen sphärisch oder asphärisch oder als Freiformfläche gekrümmt sein, so daß die Verzögerungsplatte zugleich zur Korrektur eines optischen Systems beitragen kann. Es kann also auch ein erheblich gekrümmter Meniskus als erfindungsgemäße Verzögerungsplatte dienen, wenn der Lichtweg nur der gewünschten Verzögerung über den ganzen Querschnitt hinreichend genau entspricht.

Die spannungsfreie Lagerung gemäß Anspruch 6 bedeutet, daß die Verzögerungsplatte mit normalen Fassungen, wie sie auch für Linsen, Filterplatten und dergleichen benutzt werden, gelagert werden können. Aufwendige Vorrichtungen zur homogenen Krafteinleitung wie zum Beispiel nach der US 6,084,708 B entfallen genauso wie Probleme der Halterung besonders dünner Elemente.

Der bevorzugte Einsatz in der Mikrolithographie ist in den Ansprüchen 7 bis 10 wiedergegeben.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen im Vergleich zu Ausführungen aus Magnesiumfluorid.

Eine Viertelwellenplatte nullter Ordnung für die Wellenlänge 157nm hat aus Kalziumfluorid mit Verzögerung 10nm/cm eine Dicke von 39 mm, aus Bariumfluorid mit Verzögerung 25nm/cm eine Dicke von 15,7 mm. Bei Abweichungen der Verzögerung bei einer Materialcharge - zum Beispiel durch Spannungsdoppelbrechung bedingt durch die Herstellung - ändert sich die erforderliche Dicke proportional zur Abweichung der Verzögerung. Platten solcher Dicke können in den typischen Abmessungen von Linsen, derzeit in der Mikrolithographie-Optik bis zu ca. 300 mm, gefertigt werden. Gefaßt oder gelagert werden können sie mit der für Linsen bereitstehenden Technik.

Eine entsprechende Viertelwellenplatte nullter Ordnung für 157 nm aus Magnesiumfluorid hat eine Dicke von nur 5,5  $\mu\text{m}$  (vergleiche US 6,084,708 B). Das Problem der stabilen Lagerung kann durch Ansprengen an ein dickeres Element, wie beispielsweise ein Strahlteilerprisma, gelöst werden. Die Herstellung einer so dünnen Kristallplatte mit Durchmessern über 100 mm bleibt aber ein Problem (vergleiche DE 197 04 936 A). Auch eine Viertelwellenplatte zwanzigster Ordnung hat nur eine Dicke von ca. 0,22 mm. Die Abweichung von der genauen Viertelwellenverzögerung durch Dickenvariation hat bei Platten nullter oder höherer Ordnung genau den gleichen Zusammenhang. Bei Magnesiumfluorid bringen daher schon 0,5  $\mu\text{m}$  Dickenabweichung eine unbrauchbare Abweichung von ca. 20% in der Phase.

Bei der erfindungsgemäßen Verzögerungsplatte nullter Ordnung aus Kalziumfluorid ist ein Fehler in der Phase von 2% ebenfalls entsprechend einem Dickenfehler von ebenfalls 2%. Durch die Dicke von 39 mm sind diese 2% aber 0,8 mm. Die normale Herstellung optischer Elemente ist viel genauer, so daß die Dicke überhaupt kein Herstellungsproblem darstellt. Das gleiche gilt für die etwa halb so dicke Viertelwellenplatte aus Bariumfluorid. Ein Motiv für die Verwendung von Platten höherer Ordnung ist also hier nicht gegeben, obwohl sie natürlich auch möglich sind.

Diese zulässige Dickentoleranz ergibt nun die Möglichkeit, die Endflächen der Verzögerungsplatte als Funktionsflächen mit refraktiver oder diffraktiver Wirkung zu bearbeiten. Bevorzugt eignet sich dazu die Austrittsfläche, da innerhalb der Verzögerungsplatte die Lichtausbreitungsrichtung weitgehend in Achsrichtung erfolgen sollte.

Bis zu einem Sinus des Öffnungswinkels (numerische Apertur) von 0,2 bleibt bei einer 157 nm-Halbwellenplatte aus Kalziumfluorid der Verlust des linearen Polarisationsgrads unter 2%, noch bis zu NA 0,15 bleibt er unter 0,1%.

Eine Halbwellenplatte nullter Ordnung aus Magnesiumfluorid erlaubt zwar bei gleicher Güte eine numerische Apertur bis zu 0,4. Bei Platten höherer Ordnung verringert sich die

Winkelakzeptanz aber schnell, bei einer Halbwellenplatte zwanzigster Ordnung beträgt sie nur noch NA 0,1.

Im Unterschied zu Magnesiumfluorid bieten die erfindungsgemäßen Werkstoffe der Verzögerungsplatten also real eine größere Winkelakzeptanz.

Bei diesen Winkeln spielt auch die über den Azimutwinkel mehrzählig variierende Doppelbrechung aufgrund der für andere Hauptachsen abweichenden Doppelbrechungseigenschaften, die speziell bei Linsen nachteilig ist, noch keine Rolle.

In herkömmlichen optischen Designs, speziell in Beleuchtungssystemen und Projektionsobjektiven der Mikrolithographie, sind für Verzögerungsplatten keine Zentimeter dicken Planplatten vorgesehen, sondern einzelne Millimeter dicke Platten, oder sie sind als vernachlässigbar dünne Schicht auf Strahlteilerprismen und dergleichen vorgesehen. In allen Bereichen dieser Designs aber, wo die Strahlwinkel im obengenannten Bereich liegen, können die Zentimeter dicken Planplatten aber mit dem Fachmann leicht möglichen Korrekturen in das Design eingearbeitet werden. Entgegen kommt ihm dabei, daß die Endflächen wie oben gesagt als Funktions- und Korrekturmittel sogar in gewissem Umfang zugänglich sind.

Die EP 1 102 100 A der Anmelderin zeigt ein mikrolithographisches katadioptrisches Projektionsobjektiv mit einem Polarisationsstrahlteilerwürfel, an dem der Strahlengang weitgehend kollimiert ist. Zwischen diesem und dem Konkavspiegel wird eine Viertelwellenplatte benötigt. Als erfindungsgemäße dicke Platte kann sie zum Beispiel aus der dicken fast plankonvexen Linse vor dem Konkavspiegel abgetrennt und abgeleitet werden, auch zugleich mit einer Ableitung für 157nm Wellenlänge.

Die zitierten Schriften sollen vollumfänglich auch Teil dieser Anmeldung sein. Bei 157nm und in dessen Umgebung ist die Erfindung besonders vorteilhaft, da die intrinsische Doppelbrechung hier besonders hoch ist, aber auch bei den 193nm Mikrolithographiesystemen und anderen optischen Systemen, zum Beispiel Inspektionssystemen, findet sie sinnvolle Anwendung.



#### Patentansprüche:

1. Verzögerungsplatte, insbesondere in einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, dadurch gekennzeichnet, daß die Verzögerungsplatte aus Kalzium-Fluorid-Kristall oder Barium-Fluorid-Kristall besteht und die optische Achse der Verzögerungsplatte annähernd in Richtung der  $\langle 110 \rangle$ -Kristallachse oder einer dazu äquivalenten Hauptkristallachse weist.
2. Verzögerungsplatte nach Anspruch 1, wobei die Verzögerungsplatte eine  $\lambda/2$ -Platte oder eine  $\lambda/4$ -Platte, vorzugsweise nullter Ordnung ist.
3. Verzögerungsplatte nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Verzögerungsplatte einen Durchmesser im Bereich von 50 bis 300 mm aufweist.
4. Verzögerungsplatte nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Verzögerungsplatte eine Dickenvariation bis zu 2% oder 1 mm aufweist.
5. Verzögerungsplatte nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei eine Endfläche mit einer refraktiv oder diffraktiv wirksamen Struktur oder Form versehen ist.
6. Verzögerungsplatte nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei sie spannungsfrei gelagert ist.
7. Katadioptrisches Projektionsobjektiv, insbesondere in einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, mit einer Verzögerungsplatte nach einem der Ansprüche 1-6.
8. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, umfassend ein Beleuchtungssystem und ein Projektionsobjektiv, das eine Struktur tragende Maske auf ein lichtempfindliches Substrat abbildet, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine Verzögerungsplatte nach einem der Ansprüche 1 bis 6 aufweist.

10

9. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem eine Verzögerungsplatte nach einem der Ansprüche 1 bis 6 aufweist.

10. Verfahren zur Herstellung von Halbleiter-Bauelementen mit einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7 oder 8.

Zusammenfassung:

Verzögerungsplatte aus kubischem Kristall

Als Verzögerungsplatte für das tiefe Ultraviolett werden Zentimeter dicke Platten aus Kalziumfluorid oder Bariumfluorid mit Strahlausbreitung in Richtung der  $\langle 110 \rangle$ -Kristallrichtung oder einer dazu äquivalenten Hauptachse vorgeschlagen, die spannungslos eingebaut werden. Eignung besonders für die Mikrolithographie bei 157nm.